



②① Aktenzeichen: 198 30 829.9-13
②② Anmeldetag: 9. 7. 98
④③ Offenlegungstag: -
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 8. 4. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:
Zhang, Hong, Dr., 93057 Regensburg, DE

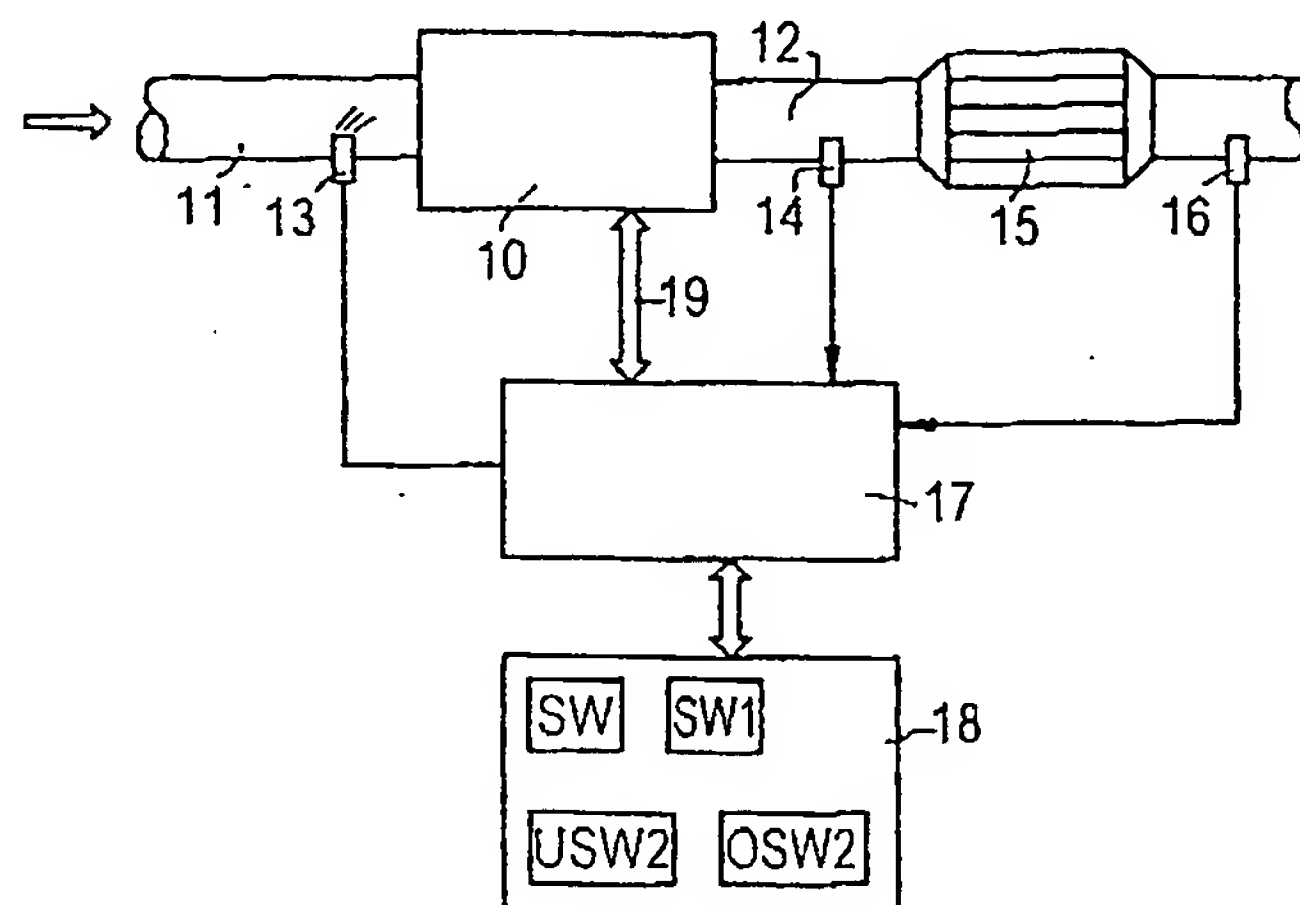
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 1 97 05 335 C1
EP 05 97 106 A1

N. Kato et al.: "Performance of Thick Film Nox-Sensor on Diesel and Gasoline Engines", Society of Automotive Engineers, Publ. No. 970858;

⑤④ Verfahren zur Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators

⑤⑦ Aus dem zeitlichen Verlauf des Ausgangssignals (US) eines stromab des NOx-Speicherkatalysators (15) angeordneten NOx-Meßaufnehmers (16) wird während und nach der Regenerationsphase ein Kriterium abgeleitet, ob die dem NOx-Speicherkatalysator (15) in einer Regenerationsphase zuzuführende Regenerationsmittelmenge zur Erzielung einer optimalen Wirkung der Abgasreinigungsanlage geändert werden muß. Das Ausgangssignal (US) wird am amperometrischen NOx-Meßaufnehmer (16) an zwei Elektroden abgegriffen. Es zeigt das für das Verfahren erforderliche Zweipunkt-Verhalten.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reneneration eines NOx-Speicherkatalysators gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Um den Kraftstoffverbrauch von Otto-Brennkraftmaschinen weiter zu reduzieren, kommen Brennkraftmaschinen mit magerer Verbrennung immer häufiger zum Einsatz. Zur Erfüllung der geforderten Abgasemissionsgrenzwerte ist bei solchen Brennkraftmaschinen eine spezielle Abgasnachbehandlung notwendig. Dazu werden NOx-Speicherkatalysatoren verwendet. Diese NOx-Speicherkatalysatoren sind aufgrund ihrer Beschichtung während einer Speicherphase in der Lage, NOx-Verbindungen aus dem Abgas zu absorbieren, die bei magerer Verbrennung entstehen. Während einer Regenerationsphase werden die absorbierten bzw. gespeicherten NOx-Verbindungen unter Zugabe eines Reduktionsmittels in unschädliche Verbindungen umgewandelt. Als Reduktionsmittel für magerbetriebene Otto-Brennkraftmaschinen können CO, H₂ und HC (Kohlenwasserstoffe) verwendet werden. Diese werden durch kurzzeitigen Betrieb der Brennkraftmaschine mit einem fetten Gemisch erzeugt und dem NOx-Speicherkatalysator als Abgaskomponenten zur Verfügung gestellt, wodurch die gespeicherten NOx-Verbindungen im Katalysator abgebaut werden.

Der Wirkungsgrad eines solchen NOx-Speicherkatalysators hängt wesentlich von einer optimalen Regeneration ab. Ist die Regenerationsmittelmenge zu gering, wird das gespeicherte NOx nicht ausreichend abgebaut, wodurch sich der Wirkungsgrad, mit dem NOx aus dem Abgas absorbiert wird, verschlechtert. Ist die Regenerationsmittelmenge zu hoch, erreicht man zwar optimale NOx-Konvertierungsraten, es tritt aber eine unzulässig hohe Emission an Reduktionsmittel auf. Die optimale Regenerationsmittelmenge schwankt über die Lebensdauer eines Fahrzeuges. Die mögliche Ursache dafür kann in der Änderung des von der Brennkraftmaschine emittierten NOx-Massenstromes sein. Ein weiterer Grund liegt in der Änderung der Speicherkapazität des Katalysators, die z. B. durch Einspeicherung von Sulfat abnimmt, da im Kraftstoff vorhandener Schwefel zu SO₂ verbrannt, durch den Katalysator bei Luftüberschuß zu Sulfat oxidiert und von der Beschichtung in ähnlicher Weise wie NO₂ gespeichert wird. Die Bindung von Sulfat im Speicher ist jedoch wesentlich stärker. Während einer Regenerationsphase wird Sulfat jedoch nicht umgewandelt, sondern bleibt im NOx-Speicherkatalysator gebunden. Mit zunehmender Sulfateinlagerung verringert sich somit die Kapazität des NOx-Speicherkatalysators.

In der deutschen Patentschrift DE 197 05 335 C1 derselben Anmelderin ist ein Verfahren zur Auslösung einer Sulfatregeneration für einen NOx-Speicherkatalysator beschrieben, bei dem in vorgegebenen Zeitpunkten eine Sulfatregenerationsphase durchgeführt wird. Bei der Auslösung der Sulfatregeneration wird neben der Menge des abgespeicherten Sulfates auch die thermische Alterung des NOx-Speicherkatalysators berücksichtigt.

Aus der EP 0 597 106 A1 ist ein Verfahren zur Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators bekannt, bei dem die vom NOx-Speicherkatalysator absorbierte Menge an NOx-Verbindungen in Abhängigkeit von Betriebsdaten der Brennkraftmaschine berechnet wird. Bei Überschreiten einer vorbestimmten Grenzmenge von im NOx-Speicherkatalysator gespeichertem NOx wird eine Regenerationsphase eingeleitet. Auf diese Weise ist jedoch ein zuverlässiges Einhalten der Abgasemissionsgrenzwerte nicht gewährleistet.

Zur Überprüfung des NOx-Speicherkatalysators ist üblicherweise ein NOx-Meßaufnehmer stromab des Katalysa-

tors angeordnet. Ein solcher Meßaufnehmer ist beispielsweise aus N. Kato et al., "Performance of Thick Film NOx Sensor on Diesel and Gasoline Engines", Society of Automotive Engineers, Publ. No. 970858 bekannt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators so erfolgt, daß dieser mit optimalem Wirkungsgrad betrieben wird.

Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 definierte Erfindung gelöst.

In der Regenerationsphase wird ein an einem NOx-Meßaufnehmer abgegriffenes Signal ausgewertet, um festzustellen, ob die Regenerationsmittelmenge optimal war. Das dazu verwendete Signal wird an einem amperometrischen NOx-Meßaufnehmer abgegriffen. Dieses Signal gibt den Lambda-Wert bzw. die Sauerstoffkonzentration im Abgas wieder und weist Zweipunktverhalten auf, d. h. im Bereich vom Lambda = 1 ändert sich das Signal bei geringen Lambdaänderungen stark.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird die dem NOx-Speicherkatalysator zuzuführende Regenerationsmittelmenge an den Optimalwert angepaßt. Da ein starkt verringerter Reduktionsmittelbedarf von einer gesunkenen Speicherkapazität des NOx-Speicherkatalysators herührt, kann bei zu stark abgesunkener Speicherkapazität vorzugsweise eine Sulfatregeneration durchgeführt werden.

Der mit der Erfindung erzielbare Vorteil besteht somit insbesondere darin, daß über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs die optimale Regenerationsmittelmenge zugeführt wird.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine mit einem NOx-Speicherkatalysator,

Fig. 2 ein Diagramm mit dem zeitlichen Verlauf des Ausgangssignals während der Regeneration des NOx-Speicherkatalysators, das am NOx-Meßaufnehmer abgegriffen wird,

Fig. 3 einen Ablaufplan zum Durchführen des Verfahrens und

Fig. 4 eine schematisierte Schnittdarstellung durch einen NOx-Meßaufnehmer.

Fig. 1 zeigt in Form eines Blockschaltbildes eine Brennkraftmaschine mit Abgasnachbehandlungsanlage bei der das Verfahren angewendet wird. Dabei sind nur die Teile und Komponenten dargestellt, die zum Verständnis der Erfindung nötig sind.

Eine Brennkraftmaschine **10** weist einen Ansaugtrakt **11** und einen Abgastrakt **12** auf. Im Ansaugtrakt **11** ist eine Kraftstoffzumeßeinrichtung vorhanden, von der nur ein Einspritzventil **13** schematisch dargestellt ist. Im Abgastrakt **12** ist eine Vorkat-Lambdasonde **14**, ein NOx-Speicherkatalysator **15** und stromab davon ein NOx-Meßaufnehmer **16** vorgesehen. Mit Hilfe der Vorkat-Lambdasonde **14** wird das Luft/Kraftstoffverhältnis im Abgas stromauf des NOx-Speicherkatalysators **15** bestimmt. Der NOx-Meßaufnehmer **16** dient unter anderem zur Überprüfung des NOx-Speicherkatalysators **15**. Der Betrieb der Brennkraftmaschine **10** wird von einem Betriebssteuergerät **17** geregelt, das über einen Speicher **18** verfügt, in dem unter anderem eine Mehrzahl von Schwellenwerten gespeichert sind. Das Betriebssteuergerät **17** ist über eine schematisch dargestellte Daten- und Steuerleitung **19** mit weiteren Meßaufnehmern und Aktoren verbunden.

Je nach Betriebsart der Brennkraftmaschine **10**, hier kommen insbesondere Lambda-1-geregelter Betrieb, homogen-magerer Betrieb und geschichtet-magerer Betrieb in Frage,

kann der NO_x-Speicherkatalysator **15** bei Luft/Kraftstoffverhältnissen nahe $\lambda = 1$ auch Drei-Wege-Eigenschaften aufweisen, bzw. anstelle eines NO_x-Speicherkatalysators **15** auch eine Einrichtung aus zwei Katalysatoren, einem NO_x-Speicherkatalysator und einem Drei-Wege-Katalysator, vorgesehen sein.

Der stromab des NO_x-Speicherkatalysators **15** vorhandene NO_x-Meßaufnehmer **16** ist ein amperometrischer Meßaufnehmer. Er ist in einer schematischen Schnittdarstellung in **Fig. 4** unter Bezugszeichen **34** detaillierter dargestellt. Er besteht aus einem Festkörperelektrolyten **26**, z. B. ZrO₂ und enthält das zu messende Abgas über eine Diffusionsbarriere **33** zugeführt. Das Abgas diffundiert durch die Diffusionsbarriere **33** in eine erste Meßzelle **20**. Der Sauerstoffgehalt in der Meßzelle **20** wird mittels einer ersten Nernstspannung V_0 zwischen einer ersten Elektrode **21** und einer Umgebungsluft ausgesetzten Referenzelektrode **29** gemessen. Die erste Elektrode **21** kann auch mehrteilig bzw. mit mehreren Abgriffen ausgeführt sein. Beide Elektroden **21**, **29** sind herkömmliche Platinelektroden. Die Referenzelektrode **29** ist in einem Luftkanal **28** angeordnet, in den über eine Öffnung **27** Umgebungsluft gelangt.

Der Meßwert der ersten Nernstspannung V_0 wird dazu verwendet, eine Stellspannung V_{p0} einzustellen. Die Stellspannung V_{p0} treibt einen ersten Sauerstoff-Ionen-Pumpstrom I_{p0} durch den Festkörperelektrolyten **26** zwischen der ersten Elektrode **21** und einer Außenelektrode **22**. Der durch eine gestrichelte Linie dargestellte Regeleingriff der ersten Nernstspannung V_0 auf die Stellspannung V_{p0} hat zur Folge, daß der Sauerstoff-Ionen-Pumpstrom I_{p0} so eingestellt wird, daß in der ersten Meßzelle **20** eine bestimmte Sauerstoffkonzentration bzw. ein bestimmter Sauerstoffpartialdruck vorliegt.

Die erste Meßzelle **20** ist über eine weitere Diffusionsbarriere **23** mit einer zweiten Meßzelle **24** verbunden. Durch diese Diffusionsbarriere **23** diffundiert das in der ersten Meßzelle **20** vorhandene Gas. Aufgrund der Diffusion stellt sich in der zweiten Meßzelle **24** eine entsprechend niedrigere, zweite Sauerstoffkonzentration bzw. Sauerstoffpartialdruck ein. Diese zweite Sauerstoffkonzentration wird wiederum über eine Nernstspannung V_1 zwischen einer zweiten Elektrode **25**, die ebenfalls eine herkömmliche Platinelektrode ist, und der Referenzelektrode **29** gemessen, und zur Regelung eines zweiten Sauerstoff-Ionen-Pumpstroms I_{p1} verwendet. Der zweite Sauerstoff-Ionen-Pumpstrom I_{p1} aus der ersten Meßzelle **20** heraus fließt von der zweiten Elektrode **25** durch den Festkörperelektrolyten **26** hindurch zur Außenelektrode **22**. Mit Hilfe der zweiten Nernstspannung V_1 wird der zweite Sauerstoff-Ionen-Pumpstrom I_{p1} so eingeregelt, daß in der zweiten Meßzelle **24** eine bestimmte, geringe, zweite Sauerstoffkonzentration vorliegt.

Das von den bisherigen Vorgängen in den Meßzellen **20** und **24** nicht betroffene NO_x wird nun an der Meßelektrode **30**, die katalytisch wirksam ausgestaltet ist, unter Anlegen der Spannung V_2 zersetzt und der freigewordene Sauerstoff als Maß für die NO_x-Konzentration an der Meßelektrode **30** und damit im zu messenden Abgas in einem Meßstrom I_{p2} zur Referenzelektrode **29** hin gepumpt.

In der ersten Meßzelle **20** entsteht dabei folgende Spannung:

$$U_{\text{erste Meßzelle}} = RT/(4F) \cdot (\ln P_{O_2, \text{erste Meßzelle}} - \ln P_{O_2, \text{Abgas}}) + R_0 \cdot I_{p0} \quad (\text{I}),$$

wobei $P_{O_2, \text{erste Meßzelle/Abgas}}$ der Sauerstoffpartialdruck in der ersten Meßzelle bzw. dem Abgas, R die Gaskonstante, T die absolute Gastemperatur, F die Faraday-Konstante, R_0 ein Übergangswiderstand zwischen der ersten Elektrode **21** und

dem Festkörperelektrolyten **26** und I_{p0} der erste Sauerstoff-Ionen-Pumpstrom ist.

In der zweiten Meßzelle ergibt sich folgende Spannung:

$$U_{\text{zweite Meßzelle}} = RT/(4F) \cdot (\ln P_{O_2, \text{Umgebungsluft}} - \ln P_{O_2, \text{zweite Meßzelle}}) \quad (\text{II}),$$

wobei $P_{O_2, \text{Umgebungsluft/zweite Meßzelle}}$ der Sauerstoffpartialdruck in der Umgebungsluft bzw. der zweiten Meßzelle ist.

Durch Abgriff der Differenzspannung zwischen der Außenelektrode **22** und der Referenzelektrode **29** werden die beiden Meßzellen **20** und **24** in Reihe geschaltet, so daß sich in erster Näherung bei hinreichend homogener Temperatur des NO_x-Meßaufnehmers **34**, hinreichend geringem Strom I_{p0} und hinreichend gleichem Sauerstoffpartialdruck an den Abgriffen der inneren Elektrode **21** folgende Beziehung ergibt:

$$U_{\text{Zweipunkt}} = RT/(4F) \cdot (\ln P_{O_2, \text{Umgebungsluft}} - \ln P_{O_2, \text{zweite Meßzelle}} + \ln P_{O_2, \text{erste Meßzelle}} - \ln P_{O_2, \text{Abgas}}) = RT/(4F) \cdot (\ln P_{O_2, \text{Umgebungsluft}} - \ln P_{O_2, \text{Abgas}}) \quad (\text{III}).$$

Diese Beziehung beschreibt das Zweipunkt-Verhalten einer Lambda-Sonde. Diese Differenzspannung zwischen der Außenelektrode **22** und der Referenzelektrode **29** wird als Ausgangssignal US für das Verfahren zur Regeneration eines NO_x-Speicherkatalysators verwendet.

Der durch den Übergangswiderstand R_0 in Gleichung (I) verursachte Meßfehler bei der Spannung in der ersten Meßzelle **20** kann vorteilhafterweise korrigiert werden. Dazu wird ein bestimmter Widerstandswert angenommen und eine I_{p0} -abhängige Kompensation durchgeführt. Weiter kann vorteilhafterweise eine Korrektur des Ausgangssignals US hinsichtlich der Temperatur des Meßaufnehmers **34** erfolgen.

Fig. 2 zeigt den zeitlichen Verlauf des Ausgangssignals US des NO_x-Meßaufnehmers **16** während der Regenerationsphase des NO_x-Speicherkatalysators **15**. Weiter ist in diese Darstellung der Verlauf des Vorkat-Lambda-Sollwertes $LAMSOLL$ eingezeichnet. Der Vorkat-Lambda-Sollwert $LAMSOLL$ springt zu Beginn der Regenerationsphase des NO_x-Speicherkatalysators **15** von einem Wert im mageren Bereich ($\lambda = 1,4$) auf einen Wert für fettes Gemisch ($\lambda = 0,85$). Nach Abschluß der Regenerationsphase wird die Brennkraftmaschine **10** wieder mager betrieben.

Am Ende der der Regenerationsphase vorausgehenden Speicherphase liegt das Ausgangssignal US bei etwa 0,03 V. Mit Beginn der Regenerationsphase steigt diese Spannung kontinuierlich an. Gegen Ende der Regenerationsphase sinkt der Lambda-Wert UL am NO_x-Meßaufnehmer **16** stromab des NO_x-Speicherkatalysators **15** unter 1 und das Ausgangssignal US steigt steil an. Später steigt UL wieder auf Werte für mageres Gemisch und US fällt wieder ab.

Um zu ermitteln, ob die dem NO_x-Speicherkatalysator **15** in einer Regenerationsphase zugeführte Regenerationsmittelmenge optimal ist, wird nun folgendermaßen vorgegangen:

Es werden zwei Summenwerte berechnet. Ein erster Summenwert $FL1$ wird aus dem mit einer bestimmten Frequenz (z. B. 100 Hz) abgetasteten Ausgangssignal US ab Beginn der Regenerationsphase bis zum Überschreiten eines Schwellenwertes SW (z. B. 0,25 V) berechnet. Dieser Summenwert entspricht der mit dem Bezugszeichen $FL1$ in **Fig. 3** gekennzeichneten Fläche. Ein zweiter Summenwert $FL2$ wird aus dem mit gleicher Frequenz abgetasteten Ausgangssignal US ab Überschreiten des Schwellenwertes SW bis zum wieder folgenden Unterschreiten des Schwellenwertes

SW berechnet. Dieser Summenwert entspricht der mit dem Bezugszeichen FL2 in **Fig. 3** gekennzeichneten Fläche. Natürlich können die Flächen FL1 und FL2 anstatt durch Summation auch durch kontinuierliche Integration gebildet werden.

Die optimale Regenerationsmittelmenge wurde dem NOx-Speicherkatalysator **15** dann zugeführt, wenn der Summenwert FL2 größer als ein Schwellenwert SW1 ist und der Summenwert FL2 zwischen einem unteren Schwellenwert USW2 und einem oberen Schwellenwert OSW2 liegt.

In **Fig. 3** ist ein Ablaufplan zur Ermittlung der optimalen Regenerationsmittelmenge dargestellt. Zuerst werden die Summenwerte bzw. Flächen FL1 und FL2 berechnet und zwischengespeichert (Schritt S1). Anschließend werden aus dem Speicher **18** des Betriebssteuergerätes **17** der Schwellenwert SW1 für den Summenwert FL1 und die Schwellenwerte USW2 und OSW2 für den Summenwert FL2 ausgelesen (Schritt S2).

Nun wird überprüft, ob die zugeführte Regenerationsmittelmenge optimal ist (Schritt S3). Dies ist dann der Fall, wenn der Summenwert FL1 über dem Schwellenwert SW1 liegt und der Summenwert FL2 dem vom unteren Schwellenwert USW2 und vom oberen Schwellenwert OSW2 begrenzten Bereich liegt. Sind diese beiden Bedingungen erfüllt (Schritt S4), so ist kein Eingriff nötig, die verwendete Regenerationsmittelmenge war optimal und das Verfahren ist beendet (Schritt S11).

Stellt sich heraus, daß diese beiden Bedingungen nicht erfüllt sind (Schritt S3), so wurde in der Regenerationsphase dem NOx-Speicherkatalysator **15** eine nicht optimale Regenerationsmittelmenge zugeführt. Abhängig von den Summenwerten FL1, FL2 kann nun bestimmt werden, ob die Regenerationsmittelmenge vergrößert oder verkleinert werden muß, um eine optimale Regeneration des NOx-Speicherkatalysators **15** zu erreichen. Dazu wird zuerst geprüft, ob der Summenwert FL1 über dem Schwellenwert SW1 und der Summenwert FL2 unter dem unteren Schwellenwert USW2 liegt (Schritt S5). Ist dies der Fall, ist die Regenerationsmittelmenge zu gering und muß erhöht werden (Schritt S11, Fall A). Die Vergrößerung der Regenerationsmittelmenge kann dabei durch Veränderung in der Luftzahl während der Regenerationsphase in Richtung fett erfolgen. Alternativ kann auch die Regenerationsphase länger durchgeführt werden, was in der Regel vorzuziehen ist, da die Variation des Lambda-Wertes in der Regenerationsphase nur in engen Grenzen (z. B. zwischen 0,75 und 0,85) möglich ist. Wurde für folgende Regenerationsphasen eine größere Regenerationsmittelmenge eingestellt, ist das Verfahren beendet (Schritt S11).

Stellt sich in Schritt 5 heraus, daß Summenwert FL1 unter dem Schwellenwert SW2 und der Summenwert FL2 über dem unteren Schwellenwert USW2 liegen, wird geprüft, ob der Summenwert FL1 über dem Schwellenwert SW2 und der Summenwert FL2 über dem oberen Schwellenwert OSW2 liegen (Schritt S7). Dann ist die Regenerationsmittelmenge zu groß und muß verkleinert werden (Schritt S8, Fall B). Die Verkleinerung der Regenerationsmittelmenge kann analog zur Vergrößerung im Fall A geschehen. Wurde eine kleinere Regenerationsmittelmenge für zukünftige Regenerationsphasen des NOx-Speicherkatalysators **15** abgespeichert, ist das Verfahren beendet (Schritt S11).

Stellte sich in Schritt S7 heraus, daß der Summenwert FL1 nicht über den Schwellenwert SW1 und der Summenwert FL2 nicht über dem oberen Schwellenwert OSW2 liegt, wird zuerst geprüft ob der Sonderfall FL1 = SW1 vorliegt (Schritt S9). Ist dies der Fall, ist kein Regeleingriff nötig und das Verfahren ist beendet (Schritt S11). Ist dies nicht

der Fall, muß der Summenwert FL1 unter dem Schwellenwert SW1 liegen (Schritt S10). Dies hat zur Folge, daß die Speicherkapazität des NOx-Speicherkatalysators **15** gesunken ist (Fall C). Um optimales Konvertierungsverhalten der Abgasanlage zu erreichen, muß demzufolge die Speicherphase verkürzt werden. Dies kann beispielsweise durch Verringerung der in einem rechnerischen Katalysatormodell verwendeten Speicherkapazität erfolgen. Ebenfalls muß der Schwellenwert SW1 gesenkt werden. Unterschreitet der Schwellenwert SW1 während der Nutzlebensdauer der Brennkraftmaschine **10** einen unteren Grenzwert, bedeutet dies, daß die Katalysatorkapazität einen Mindestwert erreicht hat, was z. B. durch Sulfateinlagerung hervorgerufen sein kann. In diesem Fall wird vorzugsweise eine Sulfatregeneration angefordert und durchgeführt, wie sie beispielsweise in der deutschen Patentschrift DE 197 05 335 C1 beschrieben ist. Nach erfolgter Sulfatregeneration kann der Schwellenwert SW1 wieder auf den Ausgangswert gesetzt werden.

Die erwähnten Schwellenwerte SW, SW1, USW2, OSW2 werden auf einem Prüfstand ermittelt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators (**15**),

- der im Abgastrakt (**12**) einer mit Luftüberschuß betriebenen Brennkraftmaschine (**10**) angeordnet ist,

- stromab dessen ein NOx-Meßaufnehmer (**16**) angeordnet ist und

- der in einer Regenerationsphase unter Zugabe eines Reduktionsmittels gespeichertes NOx katalytisch umsetzt, wobei das Reduktionsmittel durch kurzzeitigen Betrieb der Brennkraftmaschine (**10**) mit einem fetten Luft/Kraftstoffgemisch ($\lambda < 1$) erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß als NOx-Meßaufnehmer (**16**) ein Strommesser (**34**), bestehend aus einem Festkörperelektrolyten (**26**) verwendet wird, der
- eine erste Meßzelle (**20**) aufweist, in der die Sauerstoffkonzentration über eine erste Nernstspannung (V_0) zwischen einer ersten Elektrode (**21**) und einer Umgebungsluft ausgesetzten Referenzelektrode (**29**) gemessen und mittels eines ersten Sauerstoff-Ionen-Pumpstroms (I_{p0}) zwischen der ersten Elektrode (**21**) und einer Außenelektrode (**22**) geregelt wird, und

- eine zweite Meßzelle (**24**) aufweist, die mit der ersten Meßzelle (**20**) verbunden ist und in der die Sauerstoffkonzentration über eine zweite Nernstspannung (V_1) zwischen einer zweiten Elektrode (**25**) und der Referenzelektrode (**29**) gemessen wird, und

daß unter Reihenschaltung der zwei Meßzellen (**20**, **24**) die Spannung zwischen der Außenelektrode (**22**) und der Referenzelektrode (**29**) abgegriffen wird und dieses von der Sauerstoffkonzentration abhängige, Zweipunkt-Verhalten zeigende Ausgangssignal (US) während der Regenerationsphase erfaßt wird und daß

- aus dem zeitlichen Verlauf des Ausgangssignals (US) ein Kriterium dafür abgeleitet wird, ob die Regenerationsmittelmenge zur Erreichung einer optimalen Regeneration des NOx-Speicherkatalysators (**15**) geändert werden muß.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Kriterium zwei Summenwerte (FL1, FL2)

gebildet werden, wobei

- der erste Summenwert (FL1) aus dem mit einer bestimmten Frequenz abgetasteten Ausgangssignal (US) ab Beginn der Regeneration bis zum Überschreiten eines vorgegebenen Schwellenwertes (SW1) berechnet wird 5
- der zweite Summenwert (FL2) aus dem mit gleicher Frequenz abgetasteten Ausgangssignal (US) ab Überschreiten dieses Schwellenwertes (SW) bis zum Unterschreiten des Schwellenwertes (SW) berechnet wird, 10
- die Summenwerte (FL1, FL2) mit zugehörigen Schwellenwerten (SW1, USW2, OSW2) verglichen werden und
- in Abhängigkeit vom Ergebnis des Vergleiches 15 die Regenerationsmittelmenge konstant gehalten, vergrößert oder verkleinert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Reduktionsmittelmenge konstant gehalten wird, wenn der erste Summenwert (FL1) größer ist als der Schwellenwert (SW1) und der zweite Summenwert (SW2) innerhalb eines durch den unteren Schwellenwert (USW2) und den oberen Schwellenwert (OSW2) begrenzten Bereiches liegt. 20

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Reduktionsmittelmenge erhöht wird, wenn der erste Summenwert (FL1) größer ist als der Schwellenwert (SW1) und der zweite Summenwert (FL2) kleiner ist als der untere Schwellenwert (USW2). 25

5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Regenerationsmittelmenge verkleinert wird, wenn der erste Summenwert (FL1) größer ist als der Schwellenwert (SW1) und der zweite Summenwert (FL2) größer ist als der obere Schwellenwert (OSW2). 30

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Reduktionsmittelmenge vergrößert wird, indem die Regenerationsphase verlängert wird. 35

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Regenerationsmittelmenge verkleinert wird, indem die Regenerationsphase verkürzt wird. 40

8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer einer Speicherphase des NO_x-Speicherkatalysators (15), bei der die Brennkraftmaschine (14) mit Luftüberschuß betrieben wird, verkürzt wird und für den Speicherkatalysator (15) eine Sulfatregeneration durchgeführt wird, wenn der erste Summenwert (FL1) kleiner ist als der erste Schwellenwert (SW1). 45

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß abhängig vom ersten Sauerstoff-Ionen-Pumpstrom (Ip0) eine Korrektur des Ausgangssignales (US) erfolgt, um eine Fehlerspannung, die von einem vom ersten Sauerstoff-Ionen-Pumpstrom (Ip0) durchflossenen Übergangswiderstand (R0) herrührt, auszugleichen. 50 55

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal (US) abhängig von der Temperatur des NO_x-Meßaufnehmers (16, 34) korrigiert wird. 60

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

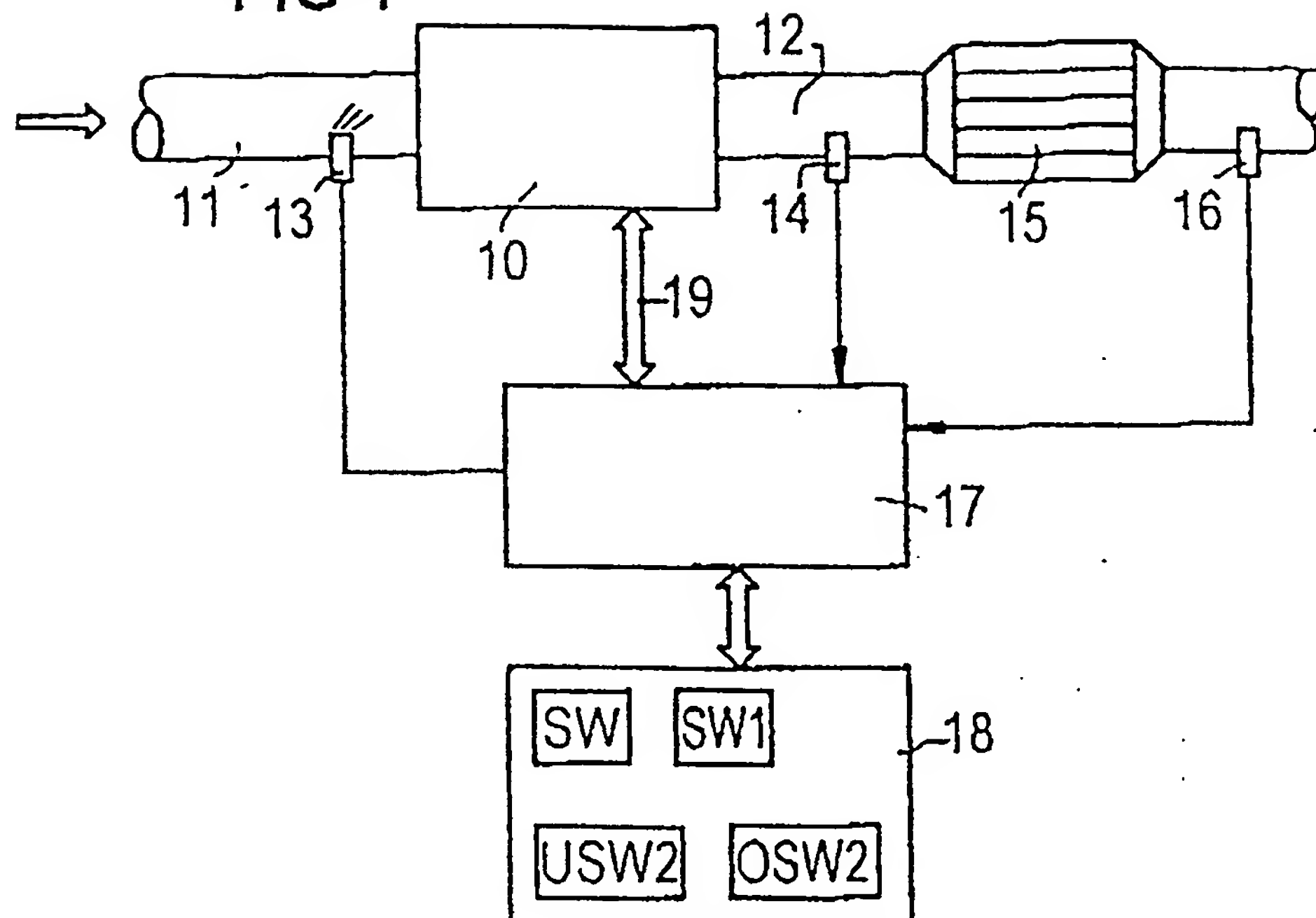


FIG 2

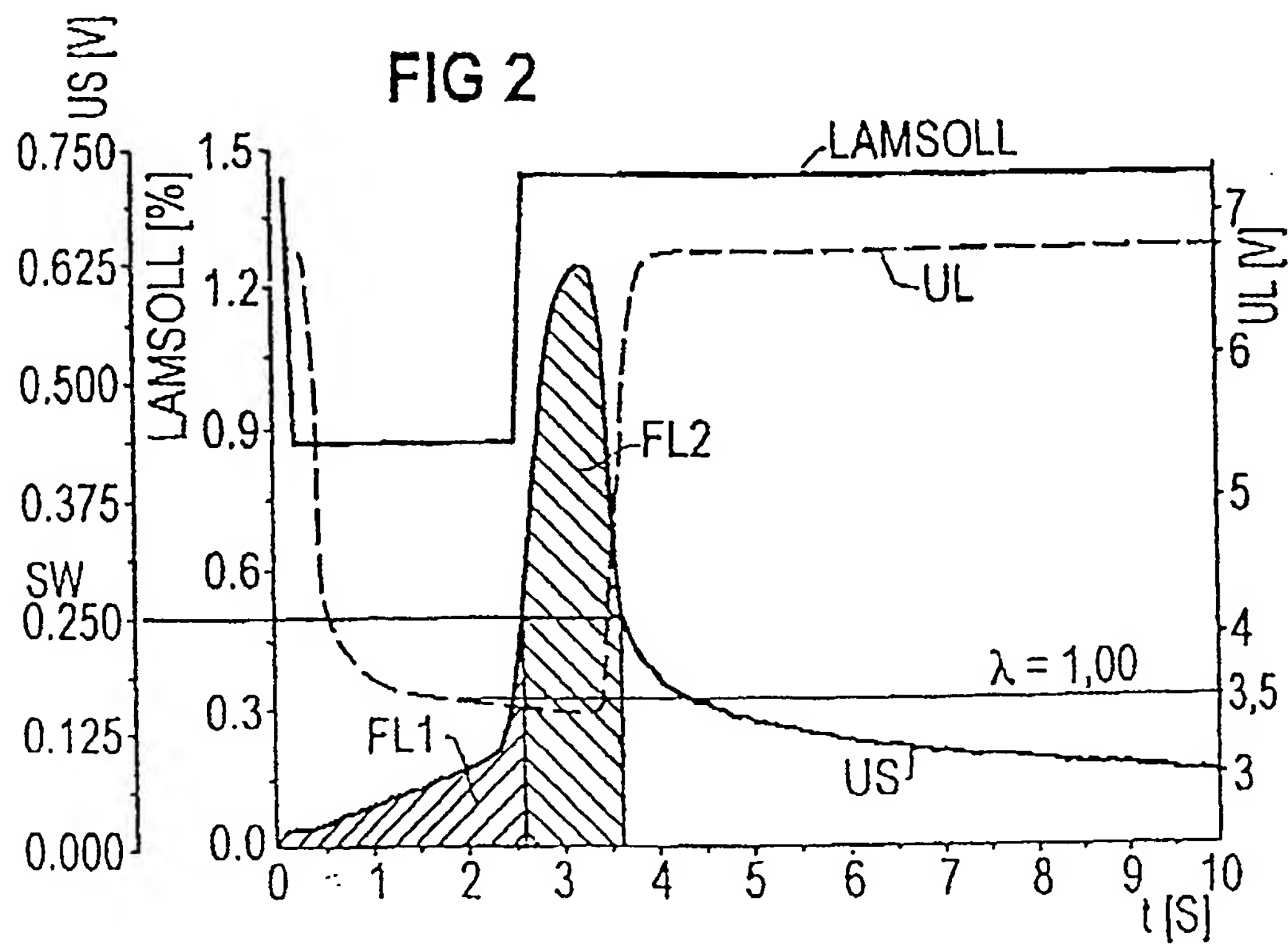
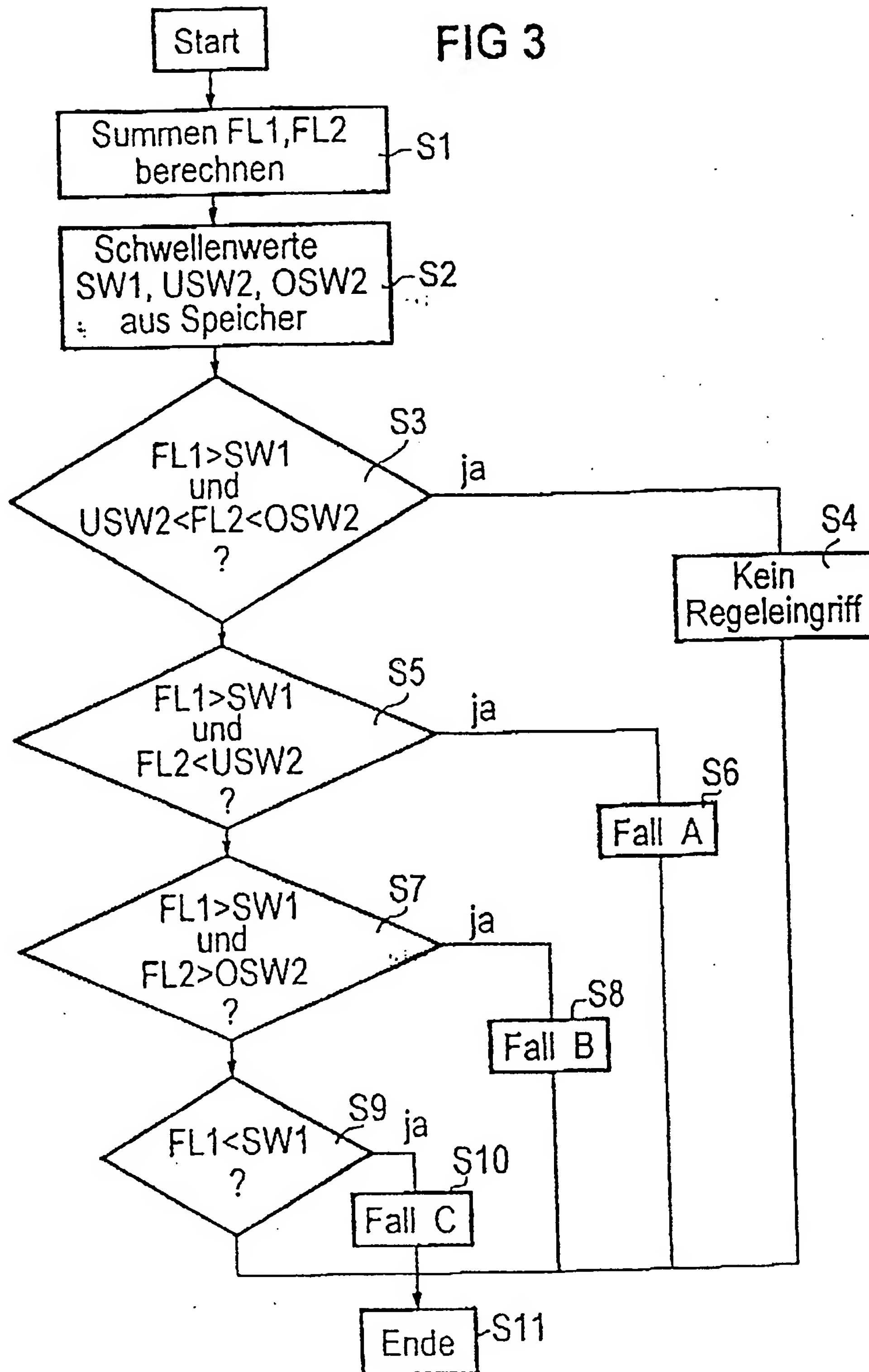


FIG 3



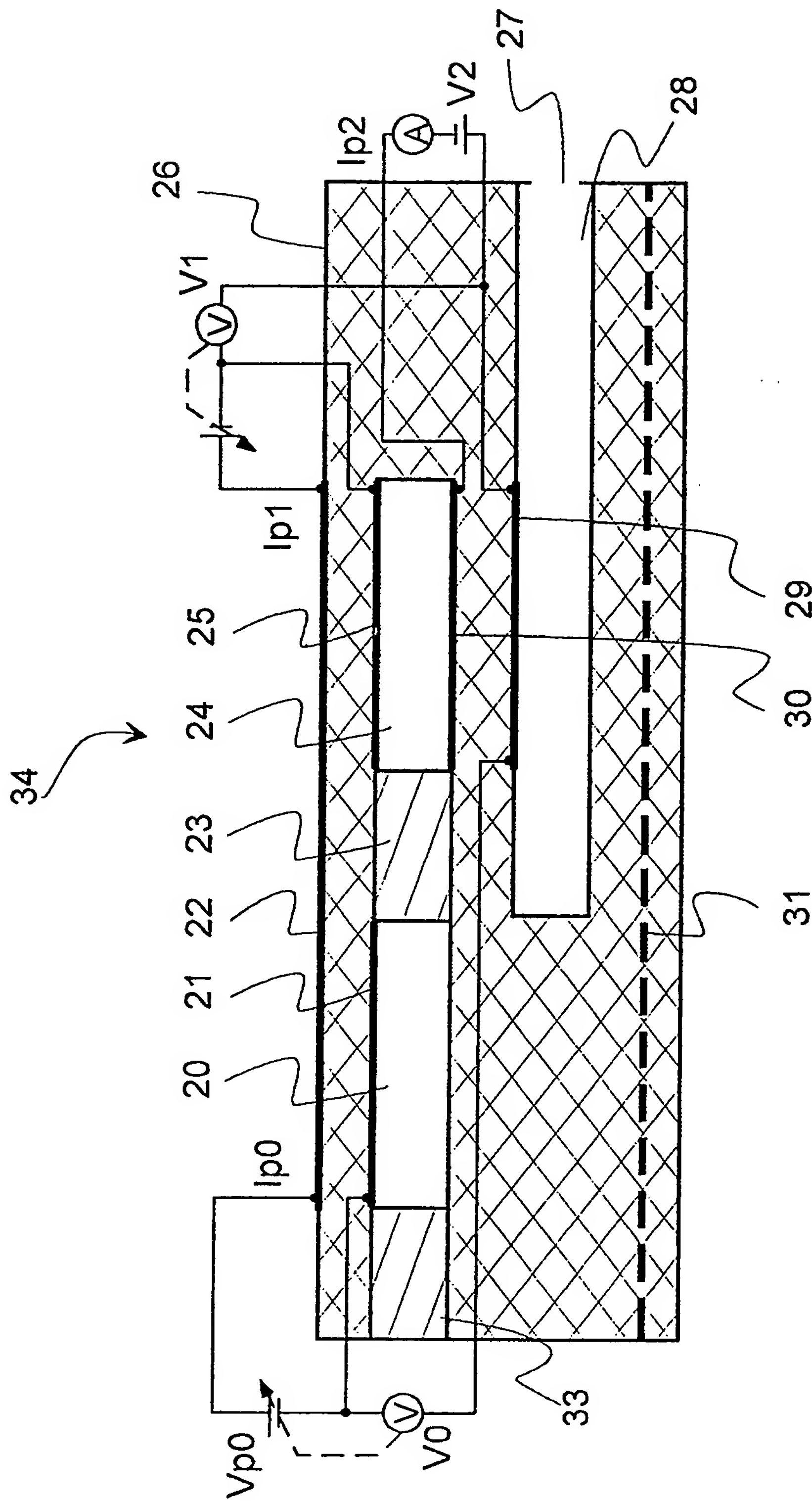


FIG 4